



Gestión integral del riesgo de sequía en México: fundamentos, desafíos y estrategias emergentes

Comprehensive drought risk management in Mexico: foundations, challenges and emerging strategies

Angel Flores Ponce ✉, Sonia Tatiana Sánchez Quispe, Liliana García Romero, Sandra Lizeth Rodríguez Heredia

Universidad Michoacana de San Nicolás de Hidalgo, Av. Francisco J. Mújica S/N, Morelia, Michoacán, México.

Resumen

La sequía constituye una amenaza creciente para México, afectando sectores clave como la agricultura, el agua y la salud. Este estudio analiza los fundamentos de la gestión integral del riesgo de sequía, así como los desafíos actuales y las estrategias emergentes. Se utilizó una metodología basada en la revisión de la literatura del IPCC (Panel Intergubernamental sobre el Cambio Climático) y del IDMP (Programa Integrado de Gestión del Riesgo de Sequía), en el análisis de casos históricos y en la construcción de un índice de riesgo que considera exposición, sensibilidad y capacidad adaptativa. Los resultados destacan la vulnerabilidad del norte y del centro del país, así como la necesidad de fortalecer los sistemas de alerta, la gobernanza y las medidas de adaptación. Se concluye que la gestión integral debe ser preventiva, articulada y sostenida mediante políticas públicas intersectoriales y participativas.

Palabras clave: sequía, gestión integral del riesgo, cambio climático.

Abstract

Drought represents an increasing threat to Mexico, affecting key sectors such as agriculture, water supply, and public health. This study analyzes the foundations of integrated drought risk management, current challenges, and emerging strategies. The methodology encompasses a literature review from the IPCC (Intergovernmental Panel on Climate Change) and the IDMP (Integrated Drought Management Programme), an analysis of historical drought events, and the development of a risk index based on exposure, sensitivity, and adaptive capacity. Results reveal high vulnerability in the northern and central regions of the country, emphasizing the importance of strengthening early warning systems, multilevel governance, and ecosystem-based adaptation. Effective drought management must be proactive, cross-sectoral, and supported by participatory public policies.

Keywords: Drought, Integrated risk management, Climate change.

Introducción

La sequía, como fenómeno natural y socioambiental, se ha convertido en uno de los riesgos climáticos más persistentes y devastadores en el contexto global actual. Su carácter silencioso, prolongado y multicausal dificulta su detección temprana y agrava sus consecuencias en múltiples dimensiones, desde la seguridad alimentaria y la salud pública hasta la degradación ambiental y el desarrollo económico. A diferencia de otros desastres de aparición súbita, la sequía actúa como un riesgo acumulativo, cuyos impactos se intensifican con el paso del tiempo y la falta de una respuesta adecuada (IPCC, 2022).

En el caso de México, la frecuencia, duración e intensidad de las sequías han aumentado significativamente durante las últimas décadas, afectando especialmente a regiones del norte y del centro del país, donde la disponibilidad hídrica es limitada, la presión agrícola es alta y la

Historial

Manuscrito recibido: 31 de octubre de 2025

Manuscrito aceptado: 19 de abril de 2026

Manuscrito publicado: agosto de 2026

✉ Autor para correspondencia

Angel Flores Ponce

angel.ponce@umich.mx

Como citar

Flores Ponce A, Sánchez Quispe ST, García Romero L, Rodríguez Heredia SL (2026). Gestión integral del riesgo de sequía en México: fundamentos, desafíos y estrategias emergentes. *Ciencia Nicolaita* 97:209-217. doi:[10.35830/cn.vi97.955](https://doi.org/10.35830/cn.vi97.955)

capacidad institucional de respuesta suele ser insuficiente (CONAGUA, 2022; FAO, 2023). A ello se suma la creciente exposición al cambio climático, cuyas proyecciones señalan un escenario preocupante de aumento de las temperaturas, disminución de la precipitación y alteración de los ciclos hidrológicos en amplias zonas del territorio

nacional (IPCC, 2021; IMTA, 2023).

Frente a este panorama, resulta imperativo pasar de enfoques tradicionales, centrados en la respuesta reactiva ante los efectos de la sequía, a modelos de gestión integral del riesgo que contemplen todas sus fases: prevención, mitigación, preparación, respuesta y adaptación. Este cambio de paradigma ha sido promovido por organismos internacionales como el Panel Intergubernamental de Expertos sobre el Cambio Climático (IPCC) y la Iniciativa Integrada para la Gestión de la Sequía (IDMP), la cual enfatiza la necesidad de entender la sequía como un riesgo compuesto, donde se entrelazan amenazas climáticas con condiciones sociales, económicas y ambientales de vulnerabilidad (droughtmanagement.info, 2024; IPCC, 2022).

Este artículo tiene como propósito analizar los fundamentos conceptuales y metodológicos de la gestión integral del riesgo de sequía en México, así como explorar los principales desafíos estructurales y las estrategias emergentes que permitan avanzar hacia un enfoque preventivo, inclusivo y basado en evidencia científica. Para ello, se combina una revisión crítica de los marcos teóricos internacionales con el análisis de estudios de caso nacionales y el desarrollo de un índice integral de riesgo que articula los componentes de exposición, sensibilidad y capacidad adaptativa.

La gestión del riesgo de sequía no debe concebirse como una acción aislada o sectorial, sino como un proceso continuo que articule el conocimiento técnico, la participación social y la voluntad política. Solo así será posible construir territorios más resilientes ante la intensificación de los eventos climáticos extremos en el presente y en el futuro cercano.

El presente trabajo se enmarca metodológicamente como una revisión integradora con aplicación metodológica, en la que se sintetizan marcos conceptuales internacionales ampliamente reconocidos y se desarrolla un índice compuesto adaptado al contexto mexicano. Por tanto, el aporte del estudio radica tanto en la articulación conceptual como en la operacionalización técnica del enfoque de gestión integral del riesgo de sequía.

El presente trabajo se enmarca metodológicamente como una revisión integradora con aplicación metodológica, en la que se sintetizan marcos conceptuales internacionales ampliamente reconocidos y se desarrolla un índice compuesto adaptado al contexto mexicano. Por tanto, el aporte del estudio radica tanto en la articulación conceptual como en la operacionalización técnica del enfoque de gestión integral del riesgo de sequía.

Marco Teórico

La sequía como riesgo compuesto

La sequía no debe entenderse únicamente como un fenómeno climatológico asociado a la disminución de las precipitaciones. En la actualidad, los enfoques más avanzados la conciben como un riesgo compuesto y sistémico, resultado de la interacción entre amenazas hidrometeorológicas,

cas, vulnerabilidades sociales, económicas y ambientales, y exposiciones territoriales específicas (IPCC, 2022). Desde esta perspectiva, la sequía adquiere un carácter multidimensional y transversal, cuyos efectos se agravan cuando existe falta de planificación, presión sobre los ecosistemas, pobreza estructural y debilidad institucional.

La Iniciativa Integrada para la Gestión de la Sequía (IDMP), promovida por la Organización Meteorológica Mundial (OMM) y la Convención de las Naciones Unidas sobre la Lucha contra la Desertificación (UNCCD), enfatiza la necesidad de adoptar un enfoque preventivo y proactivo. Este enfoque reconoce que la sequía es más que la ausencia de lluvia: es un problema de gobernanza, de gestión del agua y de justicia ambiental (droughtmanagement.info, 2023).

Riesgo de sequía: interacción entre amenaza y vulnerabilidad

En el contexto de la gestión del cambio climático, el riesgo se define como el resultado de la interacción entre una amenaza climática (H) y la vulnerabilidad (V) del sistema afectado, de acuerdo con el marco conceptual del IPCC (2022):

$$R = H \cdot V \quad (1)$$

donde:

R representa el riesgo de sequía,

H la amenaza climática asociada a la ocurrencia de eventos secos,

V la vulnerabilidad del sistema expuesto.

En el caso de la sequía, la amenaza corresponde a la probabilidad de ocurrencia de un evento hidrometeorológico extremo caracterizado por un déficit prolongado de precipitación, que puede afectar los sistemas naturales y humanos. Esta amenaza se ha incrementado debido a los efectos del cambio climático, que intensifica la variabilidad y la severidad de los eventos secos (IPCC, 2022).

Por su parte, la vulnerabilidad se compone de tres dimensiones esenciales (IPCC, 2021; OMM, 2017):

- Exposición: el grado en que las personas, los bienes o los ecosistemas se localizan en zonas susceptibles a experimentar sequías.
- Sensibilidad: la medida en que los sistemas expuestos responden negativamente ante una sequía, dependiendo de factores como la dependencia agrícola, la infraestructura deficiente o la precariedad social.

- **Capacidad de adaptación:** la capacidad de los sistemas humanos y ecológicos para hacer frente a la sequía, reducir sus impactos y recuperarse. Esta capacidad incluye tanto elementos institucionales como tecnológicos, educativos y organizativos.

La correcta identificación y cuantificación de estos componentes son clave para construir un índice integral de vulnerabilidad y, por tanto, estimar el riesgo con mayor precisión.

Enfoque de gestión integral del riesgo de sequía

La gestión integral del riesgo representa una evolución respecto de los enfoques tradicionales y reactivos ante fenómenos climáticos extremos. Este paradigma reconoce que el riesgo no es solo un hecho físico, sino una construcción social que puede y debe ser gestionada mediante intervenciones anticipadas, coordinadas y sostenibles (IDMP, 2023; IPCC, 2022).

El enfoque integral se sustenta en cuatro fases complementarias que deben implementarse de manera articulada:

- **Gestión preventiva:** acciones orientadas a anticipar la ocurrencia de sequías, mediante el monitoreo climático, la planificación territorial y la concientización social.
- **Mitigación:** medidas que buscan reducir la vulnerabilidad y limitar los impactos potenciales, como el fortalecimiento de la infraestructura hídrica, la diversificación agrícola o la protección de los ecosistemas.
- **Respuesta:** mecanismos que se activan durante el evento, tales como sistemas de alerta temprana, distribución de agua de emergencia o apoyo a los sectores productivos.
- **Adaptación:** estrategias de largo plazo que buscan transformar los sistemas socioecológicos para hacerlos más resilientes frente a eventos futuros, incluyendo el rediseño institucional, el uso de tecnologías sostenibles y el fortalecimiento comunitario (droughtmanagement.info, 2023; FAO, 2023).

Metodología

Enfoque metodológico general

La presente investigación adopta un enfoque mixto que combina el análisis cualitativo de marcos conceptuales internacionales con el análisis cuantitativo de datos espa-

ciales y estadísticos. Se parte de una revisión sistemática de la literatura especializada sobre la gestión del riesgo de sequía, en particular de los documentos del IPCC y del Programa de Gestión Integrada de Sequías (IDMP), para estructurar el marco conceptual y metodológico.

De forma paralela, se desarrolló un modelo integrado de evaluación de la vulnerabilidad y el riesgo de sequía, construido a partir de variables que representan los componentes de exposición, sensibilidad y capacidad adaptativa. Estas variables fueron seleccionadas con base en la información disponible en bases de datos oficiales y científicas y procesadas mediante métodos estadísticos robustos para asegurar su validez.

El análisis se estructuró en tres etapas principales: (1) diagnóstico conceptual, (2) análisis de casos históricos en México y (3) construcción de un índice integral de riesgo de sequía, validado mediante técnicas de sensibilidad y de visualización cartográfica.

Revisión conceptual y normativa

La primera etapa consistió en una revisión detallada de las bases teóricas que sustentan la gestión del riesgo de sequía, tomando como eje los reportes del IPCC (2021, 2022), las guías de la Organización Meteorológica Mundial (OMM, 2016) y los recursos técnicos del portal www.droughtmanagement.info. Se analizaron definiciones clave, principios de vulnerabilidad, modelos de riesgo y tipologías de gestión. Esta revisión permitió establecer un marco comparativo para evaluar la situación en México.

Además, se revisaron los instrumentos de política pública vigentes en el país, como el Programa Nacional Hídrico, los atlas de riesgo estatales y las estrategias sectoriales vinculadas al cambio climático, con el fin de identificar vacíos institucionales y oportunidades para una gestión más integrada.

Análisis de casos históricos en México

La segunda fase metodológica incluyó el análisis de eventos históricos relevantes de sequía en México, seleccionando casos emblemáticos por su severidad e impacto, como los ocurridos en 2011-2012 y 2020-2021. Para ello, se consultaron informes de CONAGUA y CENAPRED, así como reportes académicos y artículos científicos especializados.

Se identificaron patrones comunes en los factores que intensificaron la vulnerabilidad, tales como la presión agrícola sobre los acuíferos, la débil respuesta institucional, la escasa preparación local y la limitada articulación entre los niveles de gobierno. Estos aprendizajes históricos sirvieron de base para el desarrollo del índice propuesto.

Construcción del índice de riesgo de sequía

En la tercera fase se desarrolló un Índice Integral de Riesgo de Sequía (IIRS), el cual se construyó con base en la ecuación (1)

La amenaza se estimó mediante el análisis de la frecuencia y la severidad de eventos secos históricos, integrando datos de índices climáticos como SPI y SPEI. Por su parte, la vulnerabilidad se estructuró en tres dimensiones:

- Exposición: representada por variables como la precipitación media, la humedad del suelo, el déficit hídrico y la extensión de tierras agrícolas.
- Sensibilidad: medida mediante indicadores sociodemográficos, como la población en situación de pobreza, la dependencia agrícola y la densidad poblacional.
- Capacidad adaptativa: evaluada mediante indicadores de infraestructura hídrica, acceso a servicios, cobertura de salud, de educación y de capacidad institucional.

Todas las variables fueron normalizadas y ponderadas mediante el análisis de componentes principales (ACP) y algoritmos de selección automática, como Random Forest, Permutation y Lasso. Posteriormente, los resultados se integraron en sistemas de información geográfica (SIG) para representar espacialmente los niveles de vulnerabilidad y riesgo.

Validación y análisis de sensibilidad

Para evaluar la solidez del índice propuesto, se aplicaron pruebas de análisis de sensibilidad multivariado, que incluyeron:

- Correlaciones de Pearson entre variables.

- Evaluación de multicolinealidad mediante el Factor de Inflación de Varianza (VIF).
- Técnicas de selección automática como RFE y SelectKBest.
- Análisis comparativo con eventos históricos validados por CONAGUA y CENAPRED.

Los resultados permitieron identificar las variables más influyentes, ajustar ponderaciones y verificar la coherencia del índice entre diferentes regiones del país.

Resultados

Identificación y selección de variables

Con base en la literatura especializada (IPCC, 2022; Wilhelmi y Wilhite, 2002; Vargas y Paneque, 2021), se estructuró un índice integral de vulnerabilidad a la sequía considerando tres componentes fundamentales:

- Exposición: Refleja el grado en que un sistema está sujeto a eventos de sequía.
- Sensibilidad: Mide la susceptibilidad del sistema a sufrir daños ante dichos eventos.
- Capacidad adaptativa: Representa la capacidad del sistema para enfrentar, responder y recuperarse del impacto de las sequías.

Las variables seleccionadas para cada componente se detallan en la **Tabla 1**.

Tabla 1. Variables seleccionadas por componente de vulnerabilidad.

Componente	Variable	Fuente	Tipo de dato
Exposición	Precipitación anual histórica (PREHIST)	CONAGUA (2023)	Continua (mm)
	Días con sequía por año (SEQHIST)	CONAGUA / Monitor de sequía	Discreta (días)
	Índice de aridez (ARIDHIST)	Propio, con datos climáticos	Continua (índice)
Sensibilidad	Población menor a 5 años (POB5MEN)	INEGI (2020)	Porcentaje
	Personas con discapacidad (PCON_DISC)	INEGI (2020)	Porcentaje
	Hogares sin acceso a agua entubada	INEGI (2020)	Porcentaje
Capacidad adaptativa	Población con acceso a salud (PDER_SS)	CIEGEM (2020)	Porcentaje
	Escolaridad media (P15SEC_CO)	INEGI (2020)	Años promedio
	Viviendas con acceso a internet	INEGI (2020)	Porcentaje

Análisis estadístico y pruebas aplicadas

Para evaluar la pertinencia de las variables seleccionadas y determinar su contribución al índice, se aplicaron múltiples pruebas estadísticas y técnicas de selección de variables, lo que permitió garantizar la robustez y eliminar redundancias.

a) Análisis de Componentes Principales (ACP)

El ACP permitió reducir la dimensionalidad de los datos y asignar ponderaciones objetivas a cada variable en función de su contribución a la varianza total explicada por cada componente.

- En el componente de exposición, el primer componente explicó el 76,2% de la varianza, y fue dominado por ARIDHIST y SEQHIST.
- En sensibilidad, PCON_DISC presentó una alta carga factorial (0.84), seguido de POB5MEN (0.79).
- En la capacidad adaptativa, PDER_SS y P15SEC_CO fueron las más representativas.

b) Matriz de correlación y VIF

Se utilizó una matriz de correlación de Pearson para detectar la multicolinealidad entre variables. Adicionalmente, se aplicó el Factor de Inflación de Varianza (VIF) para confirmar la independencia estadística:

- Se detectó una alta correlación negativa entre PREHIST y SEQHIST (-0.89); sin embargo, ambas se mantuvieron debido a su complementariedad.
- Todas las variables seleccionadas presentaron VIF < 10, lo cual es aceptable.

c) Métodos de aprendizaje automático

Se aplicaron algoritmos de Random Forest y de Permutation Feature Importance para validar la importancia relativa de cada variable.

- En la exposición, SEQHIST fue la variable con mayor importancia relativa.
- En términos de sensibilidad, PCON_DISC fue consistentemente seleccionada como la más relevante en todos los métodos.
- En la capacidad adaptativa, la variable de acceso a la salud (PDER_SS) presentó la mayor importancia estadística.

Estos resultados se presentan en la **Tabla 2**.

Construcción del índice de vulnerabilidad a la sequía

Una vez determinadas las variables más representativas de cada dimensión (exposición, sensibilidad y capacidad adaptativa), y validadas mediante análisis estadísticos, se procedió a la construcción del Índice de Vulnerabilidad a la Sequía (IVS). Este se obtuvo mediante la siguiente expresión:

$$IVS = fE + fS + f(1 - CA) \quad (1)$$

donde:

- fE representa el componente normalizado de exposición con su ponderación en función de su grado de intervención,
- fS corresponde al componente normalizado de sensibilidad con su ponderación en función de su grado de intervención,
- fCA indica la capacidad adaptativa normalizada con su ponderación en función de su grado de intervención.

Se invirtió el valor de la capacidad adaptativa ($1 - CA$) debido a que una mayor capacidad implica menor vulnerabilidad (IPCC, 2022; Sietz *et al.*, 2011).

Cada componente se calculó a partir de la normalización de sus variables en una escala 0–1 mediante el método min-max y luego se ponderó según los pesos derivados del ACP (**Tabla 2**).

El resultado fue un índice compuesto representado a nivel de distritos hidrológicos y AGEBS (Áreas Geoestadísticas Básicas). Los valores del índice se categorizaron en cinco rangos:

Tabla 2. Resultados del análisis de sensibilidad.

Variable	ACP Carga	Importancia RF	F-score	VIF
PREHIST	0.71	0.31	462.7	5.3
SEQHIST	0.89	0.43	588.1	4.9
ARIDHIST	0.84	0.38	517.2	6.1
POB5MEN	0.79	0.26	391.4	3.8
PCON_DISC	0.84	0.41	672.5	9.1
PDER_SS	0.81	0.46	532.9	4.6
P15SEC_CO	0.72	0.32	417.2	5.8
VPH_INTERNET	0.66	0.24	354.8	4.3

- Muy baja vulnerabilidad (0.00 – 0.20)
- Baja vulnerabilidad (0.21 – 0.40)
- Media vulnerabilidad (0.41 – 0.60)
- Alta vulnerabilidad (0.61 – 0.80)
- Muy alta vulnerabilidad (0.81 – 1.00)

Evaluación territorial de la vulnerabilidad a la sequía

Con base en los componentes de exposición, sensibilidad y capacidad adaptativa, se identificaron regiones con mayor vulnerabilidad a la sequía en México, especialmente en los estados del norte y del centro del país, como Chihuahua, Coahuila, Zacatecas, San Luis Potosí, Guanajuato y Querétaro.

Los resultados muestran que estas regiones presentan condiciones estructurales que incrementan su susceptibilidad, tales como déficits crónicos de precipitación, alta dependencia del riego agrícola, infraestructura hídrica limitada y baja capacidad institucional local.

Se presenta la **Tabla 3**. Índice de Vulnerabilidad a la Sequía por Región Natural Hidrológica. con los resultados del índice de vulnerabilidad, normalizado de 0 a 1, segmentado por región.

Clasificación del riesgo de sequía

Al incorporar el componente de amenaza climática (estimada a partir de los índices históricos SPI y SPEI normalizados) con el Índice de Vulnerabilidad a la Sequía (IVS), se obtuvo el Índice Integral de Riesgo de Sequía (IIRS), cuyos resultados se presentan en la **Tabla 4**.

Como se observa en la **Tabla 4**, las regiones del norte del país registran los valores más elevados tanto en amenaza climática (0.87) como en vulnerabilidad total (0.80), lo que se traduce en un riesgo calculado de 0.70, clasificado como alto.

De manera similar, las regiones del centro presentan niveles significativos de riesgo (0.60), resultado de una combinación de amenaza creciente y condiciones estructurales de vulnerabilidad asociadas a expansión urbana, presión agrícola y limitaciones institucionales. En contraste, el sur-sureste y la Península de Yucatán presentan valores moderados y bajos, respectivamente, debido a una menor amenaza relativa y a condiciones climáticas más húmedas.

Validación del índice

Se validó el índice propuesto mediante análisis multivariado. Los resultados muestran una alta correlación entre el índice de riesgo y la ocurrencia documentada de sequías

Tabla 3. Índice de Vulnerabilidad a la Sequía por Región Natural Hidrológica.

Región Hidrológica	Exposición	Sensibilidad	Falta de Capacidad Adaptativa	Vulnerabilidad Total
Norte (RH I y II)	0.85	0.73	0.82	0.80
Centro (RH IV y VIII)	0.71	0.68	0.74	0.71
Occidente (RH VI y VII)	0.63	0.57	0.69	0.63
Sur-Sureste (RH X y XI)	0.42	0.53	0.60	0.52
Península de Yucatán (RH XIII)	0.38	0.41	0.48	0.42

Nota: Los valores fueron ponderados mediante ACP y normalizados mediante escala min-max.

Tabla 4. Clasificación del riesgo de sequía en México por región.

Región	Amenaza Climática (SPI/SPEI)	Vulnerabilidad Total	Riesgo Calculado
Norte	0.87	0.80	0.70
Centro	0.76	0.71	0.60
Occidente	0.62	0.63	0.45
Sur-Sureste	0.55	0.52	0.35
Península de Yucatán	0.50	0.42	0.28

severas en los últimos 20 años, especialmente en 2011, 2017 y 2021 (CONAGUA, 2022).

Además, se compararon los valores obtenidos con el índice IDSS (Índice de Sequía Socioeconómica) de Urquijo (2015), encontrando coincidencias en más del 85% de los municipios clasificados como de alto riesgo, lo que refuerza la confiabilidad del enfoque metodológico.

Discusión

Implicaciones del índice de vulnerabilidad y riesgo

Los resultados obtenidos confirman que la vulnerabilidad a la sequía en México presenta una marcada heterogeneidad territorial, determinada por la interacción entre la exposición climática, la dependencia productiva, la infraestructura hídrica y la capacidad institucional.

En particular, el norte y el centro del país concentran condiciones estructurales que incrementan el riesgo al

combinar la alta frecuencia de sequías con limitaciones adaptativas institucionales y socioeconómicas. Esta configuración coincide con proyecciones en escenarios RCP 8.5 y SSP5-8.5 hacia finales del siglo XXI, que anticipan un aumento en la intensidad y la recurrencia de eventos secos (IPCC, 2022; CONAGUA, 2023).

Estos hallazgos son consistentes con estudios previos que advierten que el riesgo climático en México no depende exclusivamente de la amenaza física, sino de la acumulación de vulnerabilidades estructurales que amplifican sus impactos (Magaña *et al.*, 2012; Díaz Caravantes y González, 2018).

Retos actuales de la gestión del riesgo

El análisis evidencia desafíos estructurales que limitan una gestión efectiva del riesgo de sequía en México:

- Debilidad institucional local, con capacidades técnicas y presupuestales insuficientes para implementar medidas de adaptación (Garduño *et al.*, 2021).
- Fragmentación sectorial, en la que agua, agricultura, salud y desarrollo urbano operan con escasa articulación interinstitucional.
- Desigualdad social y territorial, que incrementa la sensibilidad en comunidades rurales, indígenas y periurbanas (CONEVAL, 2023).
- Limitaciones en monitoreo y alerta temprana, que dificultan la anticipación y respuesta oportuna (OMM, 2016).

Esta combinación de factores revela que el riesgo de sequía es tanto un problema hidrometeorológico como uno de gobernanza y desarrollo.

Estrategias emergentes para la gestión integral del riesgo

El análisis bibliográfico y empírico señala la urgencia de transitar de enfoques reactivos a estrategias proactivas e integrales, tal como lo recomiendan el IPCC (2022) y el IDMP (2024). A continuación, se resumen algunas de las estrategias más prometedoras:

a) Fortalecimiento de los Sistemas de Alerta Temprana (SAT)

Integrar variables climáticas, sociales e hidrológicas en plataformas de monitoreo continuo y de alertamiento para la toma de decisiones anticipadas (OMM y WMO, 2023).

b) Gobernanza multinivel y participación social

Fomentar la coordinación entre los niveles de gobierno (federal, estatal, municipal) y con actores sociales, incorporando esquemas como Consejos de Cuenca más activos y planes comunitarios de adaptación.

c) Adaptación basada en ecosistemas (AbE)

Promover soluciones naturales como la restauración de cuencas, la conservación de humedales y suelos, la reforestación estratégica y la protección de los servicios ecosistémicos, que incrementen la resiliencia hídrica.

d) Tecnologías de monitoreo y predicción climática

Utilizar modelos climáticos actualizados (CMIP6), inteligencia artificial para la predicción y el análisis de datos, imágenes satelitales (NDVI, VHI) y plataformas abiertas, como Copernicus, para pronósticos más precisos.

e) Planes locales de adaptación y resiliencia

Desarrollar Planes de Gestión de Sequías con enfoque territorial, adaptados al contexto socioclimático de cada región e incorporando mapas de riesgo, como los generados en este estudio.

Hacia un enfoque sistémico y preventivo

La evidencia recopilada respalda la necesidad de adoptar la Gestión Integral del Riesgo (GIR) como marco operativo, articulando las cuatro fases clave:

- Gestión preventiva: planificación anticipada basada en escenarios.
- Gestión de mitigación: reducción de la exposición y de la vulnerabilidad estructural.
- Gestión de la respuesta: protocolos ágiles de emergencia.
- Gestión adaptativa: aprendizaje, monitoreo y ajuste continuo de políticas.

Este enfoque es particularmente relevante en el contexto mexicano, donde los impactos de la sequía no solo afectan la oferta hídrica, sino que también repercuten en la seguridad alimentaria, energética, sanitaria y económica (FAO, 2022; IPCC, 2022).

Conclusiones

La presente investigación aporta una visión integral para la evaluación del riesgo de sequía en México mediante

la articulación conceptual de marcos internacionales y el desarrollo de un índice compuesto basado en la exposición, la sensibilidad y la capacidad adaptativa.

Los resultados evidencian que la vulnerabilidad territorial es el resultado de interacciones complejas entre condiciones climáticas, factores socioeconómicos y capacidades institucionales, lo que genera concentraciones de alto riesgo, particularmente en el norte y el centro del país.

La aplicación de métodos estadísticos multivariados y técnicas de aprendizaje automático permitió identificar variables determinantes de la configuración del riesgo, reforzando la importancia de integrar indicadores sociales (como la población con discapacidad y el acceso a servicios) en los análisis climáticos tradicionales.

El estudio confirma que la sequía debe abordarse como un riesgo sistémico y no como un evento aislado. En consecuencia, se propone consolidar el enfoque de Gestión Integral del Riesgo mediante estrategias preventivas, de mitigación, de respuesta y de adaptación articuladas a nivel territorial.

Finalmente, se destaca que la reducción del riesgo de sequía requiere no solo infraestructura y tecnología, sino también el fortalecimiento institucional, la gobernanza multinivel y la participación social activa, elementos fundamentales para construir resiliencia en un contexto de creciente variabilidad climática.

Referencias

CONAGUA (2022). Atlas del agua en México 2022. Comisión Nacional del Agua. <https://www.gob.mx/conagua>

CONAGUA (2023). Sistema Nacional de Información del Agua. <https://sinia.conagua.gob.mx>

CONEVAL (2023). Medición de la pobreza en México. Consejo Nacional de Evaluación de la Política de Desarrollo Social. <https://www.coneval.org.mx>

Copernicus (2024). Climate Data Store. European Centre for Medium-Range Weather Forecasts. <https://cds.climate.copernicus.eu>

Díaz Caravantes R, González CR (2018). Escasez de agua y justicia ambiental: vulnerabilidad social y distribución espacial de riesgos en el contexto urbano de Hermosillo, México. *Papeles de Población* 24(97):77–106. doi:10.22185/24487147.2018.97.23

droughtmanagement.info (2023). Integrated Drought Management Programme – IDMP Tools and Guidelines. <https://www.droughtmanagement.info>

droughtmanagement.info (2024). Drought Risk Management. International Drought Management Programme. <https://www.droughtmanagement.info>

FAO (2022). The State of Food and Agriculture 2022. Food and Agriculture Organization of the United Nations. <https://www.fao.org>

FAO (2023). La sequía en el contexto del cambio climático: gestión adaptativa. <https://www.fao.org>

Garduño H, Rodríguez D, Sheinbaum C (2021). Adaptación al cambio climático en México: Perspectivas para la gestión del recurso hídrico. *Gestión y Política Pública* 30(2):359–394.

Hersbach H, Bell B, Berrisford P, *et al.* (2020). The ERA5 global reanalysis. *Quarterly Journal of the Royal Meteorological Society* 146(730):1999–2049. doi:10.1002/qj.3803

IDMP (2023). Integrated Drought Management Programme: Guidance and Practices. <https://www.droughtmanagement.info>

IDMP (2024). Framework for Drought Risk Reduction. Integrated Drought Management Programme.

IMTA (2023). Gestión de sequías en México: recomendaciones de política pública. Instituto Mexicano de Tecnología del Agua.

IPCC (2021). Climate Change 2021: The Physical Science Basis. Contribution of Working Group I to the Sixth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change. Cambridge University Press. <https://www.ipcc.ch/report/ar6/wg1/>

IPCC (2022). Climate Change 2022: Impacts, Adaptation and Vulnerability. Contribution of Working Group II to the Sixth Assessment Report. <https://www.ipcc.ch/report/ar6/wg2/>

Magaña V, Pérez JL, Vázquez JL (2012). Vulnerabilidad y adaptación regionales ante el cambio climático en México. *Investigaciones Geográficas* (77):34–50. doi:10.14350/ig.30310

Meinshausen M, Vogel E, Nauels A, *et al.* (2020). The SSP greenhouse gas concentrations and their extensions to 2500. *Geoscientific Model Development* 13(8):3571–3605. doi:10.5194/gmd-13-3571-2020

OMM (2016). Directrices para la vigilancia del clima. Organización Meteorológica Mundial.

OMM (2017). Cambio climático y salud: guía para profesionales del sector salud. Organización Meteorológica Mundial y Organización Mundial de la Salud.

OMM y WMO (2023). Global Water Resources Report 2022. World Meteorological Organization. <https://public.wmo.int>

O'Neill BC, Kriegler E, Riahi K, *et al.* (2014). A new scenario framework for climate change research: the concept of shared socioeconomic pathways. *Climatic Change* 122:387–400. doi:10.1007/s10584-013-0905-2

Sietz D, Boschütz M, Klein RJT (2011). Mainstreaming climate adaptation into development assistance: Rationale, institutional barriers and opportunities in Mozambique. *Environmental Science & Policy* 14(4):493–502. doi:10.1016/j.envsci.2011.01.001

Teutschbein C, Seibert J (2012). Bias correction of regional climate model simulations for hydrological climate-change impact studies: Review and evaluation of methods. *Journal of Hydrology* 456–457:12–29. doi:[10.1016/j.jhydrol.2012.05.052](https://doi.org/10.1016/j.jhydrol.2012.05.052)

Urquijo J (2015). Vulnerabilidad y adaptación a la sequía en los sistemas agrícolas de España. *Revista de Geografía Norte Grande* (60):65–83. doi:[10.4067/S0718-34022015000100004](https://doi.org/10.4067/S0718-34022015000100004)

Van Vuuren DP, Edmonds J, Kainuma M, *et al.* (2011). The Representative Concentration Pathways: An Overview. *Climatic*

Change 109:5–31. doi:[10.1007/s10584-011-0148-z](https://doi.org/10.1007/s10584-011-0148-z)

Vargas R, Paneque P (2021). Gobernanza adaptativa ante la sequía: entre la cooperación institucional y la participación ciudadana. *Ambienta* 142:12–27.

Wilhelmi OV, Wilhite DA (2002). Assessing vulnerability to agricultural drought: A Nebraska case study. *Natural Hazards* 25(1):37–58. doi:[10.1023/A:1013388814894](https://doi.org/10.1023/A:1013388814894)